

# 身近なpH指示薬の探索と授業実践

Search of New pH Indicator in Our Life and Lesson Practice Using These Indicator

木村 憲喜  
Noriyoshi KIMURA

佐武 昇  
Noboru SATAKE

暁 竜二  
Ryuji HIKARI

四方田 大樹  
Hiroki YOMODA

溝川 彩  
Aya MIZOKAWA

中村 文子  
Fumiko NAKAMURA

(和歌山大学教育学部化学教室)

2011年7月22日受理

## Abstract

We try to observe in the present study the color of various water solutions using new pH indicators. The pH indicators extracting from some plants show clear color change for different pH values. It is expected from the present our experiment that these new pH indicators can be used like phenolphthalein and BTB indicators in usual lessons of elementary and junior high schools.

### 1. はじめに

我々の身の回りには、市販の薬品を使用しなくても酸とアルカリを区別することができるものがある。代表的な酸アルカリ指示薬の1つが植物の色素である。<sup>1)</sup> 植物の花にはさまざまな色の色素があり、酸アルカリの指示薬に利用できるものが数多くある。<sup>1,2)</sup> 今回、1月から12月に見られる代表的な花の色素をエタノール(エチルアルコール)で抽出し、指示薬としての性質を調べてみた。

本稿では、まず教育現場でよく用いられるメチルオレンジ(MO)<sup>3)</sup>、プロモチモールブルー(BTB)<sup>4)</sup>、フェノールフタレイン(PP)<sup>4)</sup>、紫キャベツ(アントシアニン系色素)<sup>2,4)</sup>におけるpH色調変化と紫外可視吸収スペクトルを測定し、得られた結果をもとに色素分子の構造変化と色素の色について紹介する。そして、これらの分子構造の変化から、身の回りの植物色素におけるpH構造変化を考察する。さらに、今回行った実験を小学校や大学の講義で実践したので、この実践例について報告する。

### 2. 指示薬の光吸収について

メチルオレンジ(MO)  $1 \times 10^{-2}$ gをイオン交換水1Lに溶かし、指示薬を調製した。そして、この指示薬をさまざまなpH緩衝溶液20 mLに1 mL駒込ピペットで2滴ずつ加え、色調変化と紫外可視(UV-Vis)吸収スペクトルを測定した。UV-Vis吸収スペクトル測定は、日本分光社製V-630およびサーモサイエンティフィック社製SPECTRONIC 200にて行った。得られた結果

を図2-1, 2に示す。



図2-1 メチルオレンジ(MO)のpH色調変化

左から順にpH値が1.21, 2.69, 3.00, 3.30, 3.70, 4.39, 5.59, 13.43である。

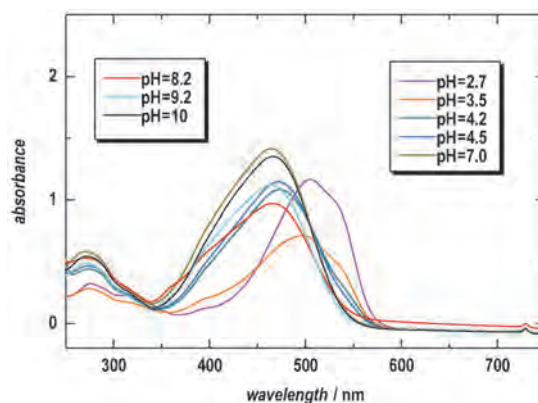


図2-2 メチルオレンジ(MO)の吸収スペクトル

メチルオレンジの量は1 mL駒込ピペット2滴である。

得られたpH色調変化から、MO指示薬はpH = 3.0-3.7付近で変色することがわかった。しかし、駒込ピペットで適量のMOを加えた吸収スペクトルでは、明確な等吸収点を決定できなかった。次に、MO  $6.9 \times 10^{-3}$ gをイオン交換水1Lで溶解させ、ホールピペット

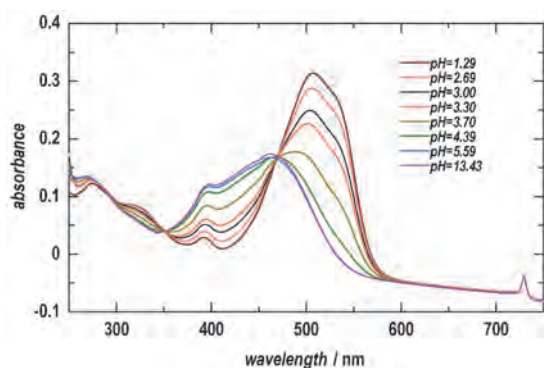
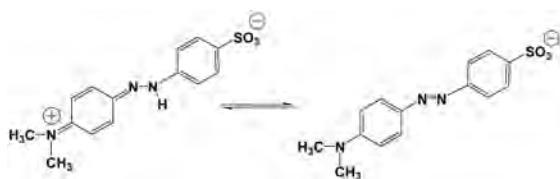


図 2-3 メチルオレンジ(MO)の吸収スペクトル

を用いて10 mLを正確に加えた。得られた吸収スペクトルを図2-3に示す。

ホールピペットを用いて正確に指示薬を加えることにより、図2-3のように等吸収点を明確に観測することができた。よって、等吸収点を明確に示すためには、ホールピペットなどを用い、均一量の指示薬を入れる必要があることがわかった。

MOの色調変化時における分子の構造変化<sup>5)</sup>を図2-4に示す。

図 2-4 メチルオレンジ(MO)の構造変化<sup>5)</sup>

左の分子の構造が酸性、右の構造がアルカリ性水溶液中での安定構造である。

次に、プロモチモールブルー(BTB)  $1.64 \times 10^{-2}$  gをイオン交換水1 Lに溶かし、ホールピペットを用いて20 mLを正確に測り取り、20 mLのpH緩衝溶液に入れた。得られた各種pH溶液の色調変化を図2-5に示す。

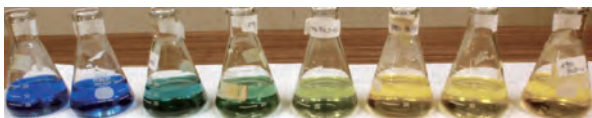


図 2-5 プロモチモールブルー(BTB)のpH色調変化

左から順にpH値が10.0, 9.18, 7.90, 6.91, 6.30, 5.52, 4.01, 1.68である。

BTBを指示薬として使用することにより、アルカリ性溶液では青色、中性では緑色、酸性では黄色になった。次に、得られた吸収スペクトルを図2-6に示す。

BTB溶液の吸収スペクトルもMO溶液と同様に等吸収点が観測され、アルカリ性の水溶液においてより長波長側にピークが観測された。次に、BTBの色調変化時における分子の構造変化<sup>6)</sup>を図2-7に示す。

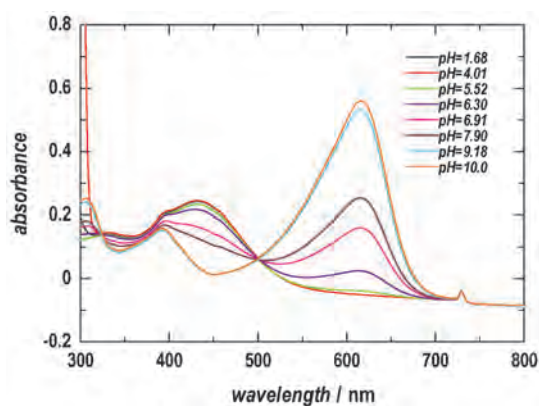
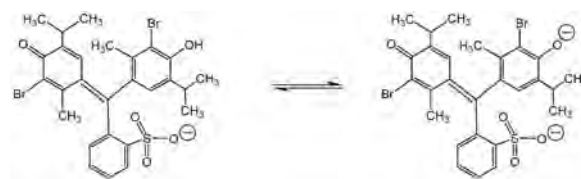


図 2-6 プロモチモールブルー(BTB)の吸収スペクトル

図 2-7 プロモチモールブルー(BTB)の構造変化<sup>6)</sup>

左の分子の構造が酸性(黄色)、右の構造がアルカリ性水溶液(青色)での安定構造である。

図2-7より、アルカリ性水溶液中でのBTBの共役系の長さが酸性溶液中の構造に比べ長いこと、アルカリ性溶液中での最大吸収波長の長さが酸性溶液の最大吸収波長に比べ大きくなっていることがわかった。

同様に、フェノールフタレイン(PP)  $2.42 \times 10^{-2}$  gをイオン交換水1 Lに溶かし、ホールピペットで20 mL測り取り、各種pH緩衝溶液に加えた。得られたpH色調変化を図2-8に示す。



図 2-8 フェノールフタレイン(PP)のpH色調変化

左から順にpH値が6.92, 8.00, 8.95, 9.05, 9.70, 10.05, 10.72, 12.83, 13.12, 13.62である。

中性、強アルカリ性溶液では無色であるが、pH = 9-13領域でピンク色の溶液が観察された。次に、これらの水溶液の吸収スペクトルを測定すると、図2-9のようになった。

弱アルカリ性水溶液中におけるピンク色の吸収はca. 550 nm付近による吸収によるもので、この吸収は $\pi$ 電子の励起に起因するものであると思われる。変色域におけるPP分子の構造変化<sup>2,6)</sup>を図2-10に示す。

酸性、中性領域では、図2-10に示したようにラクトン環構造が安定であり、紫外線領域の光を強く吸収する。一方、pHが9以上になると、ラクトン環が開いて

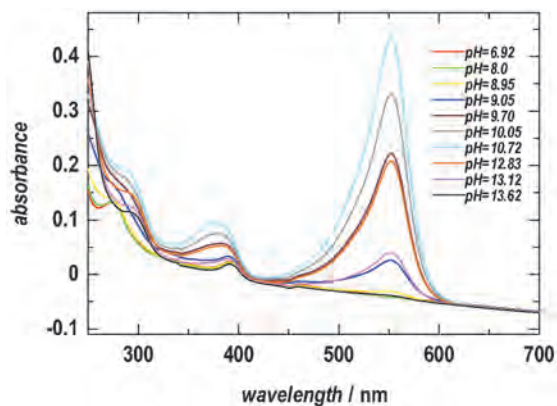
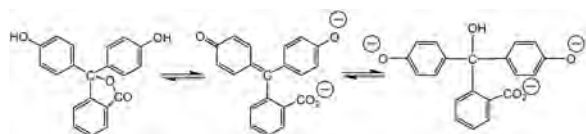


図 2-9 フェノールフタレイン(PP)の吸収スペクトル

図 2-10 フェノールフタレイン(PP)の構造変化<sup>2,6)</sup>

左の分子の構造が酸性、中性(無色)、中央の構造が弱アルカリ性(ピンク色)、右の構造が強アルカリ性水溶液(無色)での安定構造である。

2つのベンゼン環が共役する。そのため、より長波長( $ca. 550 \text{ nm}$ )の光を吸収しピンク色に発色する。さらに、アルカリ性が強くなると $\text{OH}^-$ が炭素原子に結合し、2つのベンゼン環間の共役系が切断されるため550 nmの吸収強度が低下し、酸性、中性水溶液と同様に無色になる。

最後に、紫キャベツパウダー(ケニス社製)を用いて、実験を行った。まず、紫キャベツパウダー  $4 \times 10^{-1} \text{ g}$  をイオン交換水 1 L に溶かし、ホールピペットで 20 mL を測り取り、pH緩衝溶液に加えた。得られた紫キャベツ色素の色調変化を図 2-11 に示す。



図 2-11 紫キャベツ(アントシアニン系)色素のpH色調変化

左から順にpH値が1.80, 2.80, 4.00, 4.60, 6.00, 6.51, 6.80, 7.83, 8.20, 9.00, 10.55である。

さまざまなpHにおける紫キャベツ色素分子の構造変化は、すでに文献 1, 2, 7 で紹介しており、4種類の構造変化により図 2-11 に示したような色調変化が現れる。図 2-12 中の矢印で示した吸収極大は、文献 7 より強アルカリ性(黄色)、弱アルカリ性(緑色)、酸性(ピンク色)における共役構造の $\pi-\pi^*$ 吸収に帰属される。

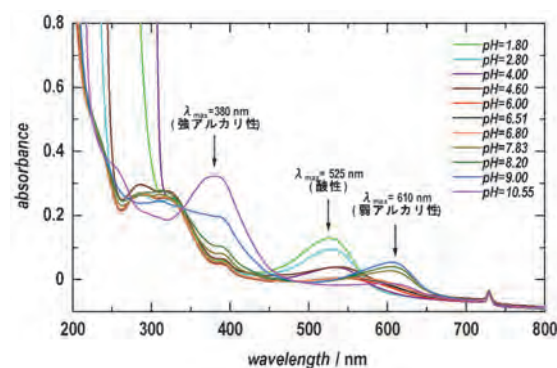
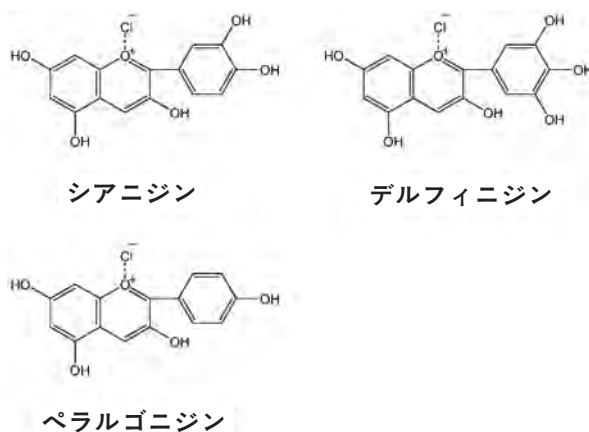


図 2-12 紫キャベツから抽出した色素の吸収スペクトル

### 3. 植物の色素を使った指示薬

植物の色素は大きく分けると、カロテノイド系とフラボノイド系(アントシアニン)色素に大別することができる。キク科のタンポポやヒマワリに含まれる黄色色素はカロテノイド系色素である。一方、ツツジ、アジサイ、椿などに含まれる赤から紫色の色素がアントシアニンである。アントシアニン中の非糖成分にはシアニジン(赤紫色：中性)、デルフィニジン(紫赤色：中性)、ペラルゴニジン(オレンジ色：中性)(図 3-1)などがある。<sup>1)</sup>

図 3-1 アントシアニン成分の構造<sup>1)</sup>

シアニジン、は、赤色のバラやカーネーション、寒椿、アサガオ、紫キャベツ、赤シソなどに多く含まれる。<sup>1)</sup> デルフィニジン、はアジサイやマローブルーなどに含まれる。<sup>1)</sup> ペラルゴニジン、は、オレンジ色のバラやカーネーションの花に多く含まれる。<sup>1)</sup> 特に、バラやカーネーション、ガーベラの花などはシアニジンとペラルゴニジンなどを多く蓄積する。<sup>1)</sup> 今回、これらの植物色素のpH色調変化と植物色素を使ったアンモニアの噴水実験を行った。

植物色素(花の色素)の抽出は、主にエタノールを用いて行った(図 3-2)。エタノールで抽出後、冷蔵庫中で保存した。この操作により、数ヶ月の保存が可能となる。



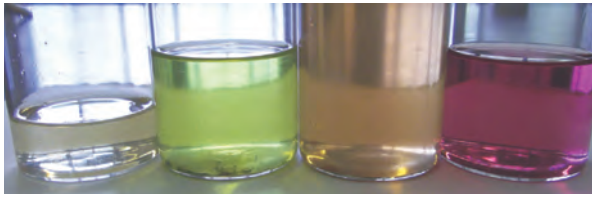
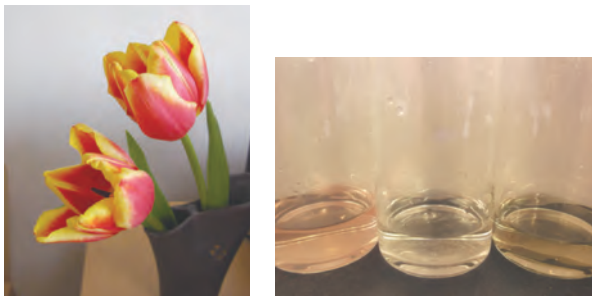


図 3-2 エタノールを用いて植物から抽出した色素  
左から、ピンク色のカーネーション、アヤメ、赤色のバラ、  
ヒラドツツジから抽出した植物色素のエタノール溶液

最初に、チューリップのpH色調変化を図 3-3 に示す。



チューリップ(3-4月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

図 3-3 チューリップを用いた指示薬のpH色調変化  
酸性溶液は0.1mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は  
0.1mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。

色調の変化は、0.1 mol/L塩酸水溶液とイオン交換水、0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液にて観察した。酸性溶液ではピンク色、中性ではほぼ無色、アルカリ性では黄色となった。これは、図 3-3 中のチューリップの赤色成分がアントシアニン系の色素を含んでいるためであると考えられる。次に、タンポポの色調変化と可視紫外吸収スペクトルを図 3-4 に示す。

タンポポでは大きな色調変化が見られず、測定した吸収スペクトルも大きな変化は観測されなかった。このことから、タンポポなどに多く含まれるカロテノイド系色素は、酸やアルカリで色調が大きく変化しないことがわかった。ガーベラ、ヒラドツツジ、カーネーションの色調変化と可視紫外吸収スペクトルを図 3-5-8 に示す。



タンポポ(3-5月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

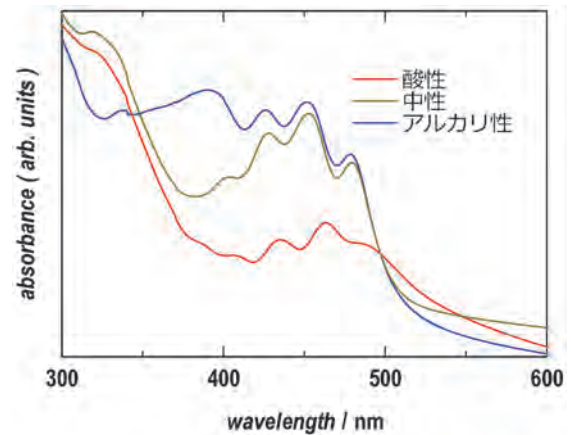


図 3-4 タンポポを用いた指示薬のpH色調変化と  
可視紫外吸収スペクトル

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は  
0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。



ガーベラ(3-5月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

図 3-5 ガーベラを用いた指示薬のpH色調変化  
酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は  
0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。



ヒラドツツジ(4-5月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

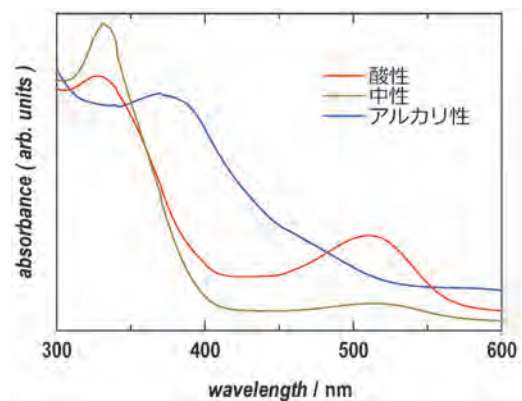
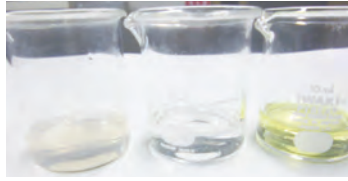


図 3-6 ヒラドツツジを用いた指示薬のpH色調変化と  
可視紫外吸収スペクトル

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は  
0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。



カーネーション(ピンク色)(5月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

図3-7 カーネーション(ピンク色)を用いた指示薬のpH色調変化

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。



カーネーション(赤色)(5月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

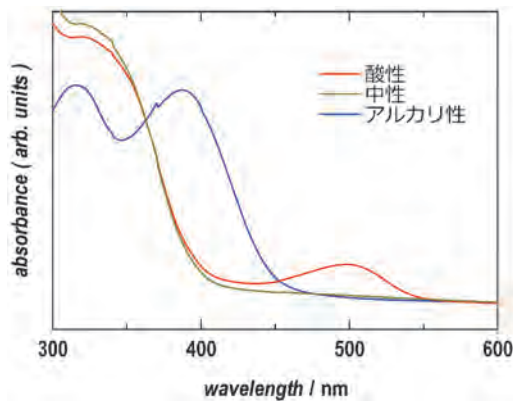


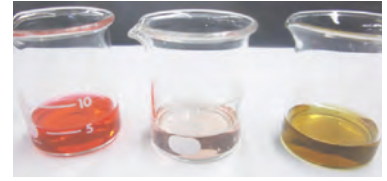
図3-8 カーネーション(赤色)を用いた指示薬のpH色調変化と可視紫外吸収スペクトル

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。

これらすべての花はアントシアニン色素を多く含み、酸性では赤からピンク色、中性では無色からうすい紫色、アルカリ性では黄色となった。さらに吸収スペクトルを見ると、酸性で500 nm付近に極大吸収が観測された。この吸収バンドが赤色の色調に関係しており、前述の紫キャベツで観測されたスペクトルと一致した。

赤色、黄色、オレンジ色のバラの色調変化と吸収スペクトルの結果を図3-9-11に示す。

赤色のバラでは、pHの色調変化が顕著に観察されたが、黄色、オレンジ色では大きな変化がなかった。ま



バラ(赤色)(5月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

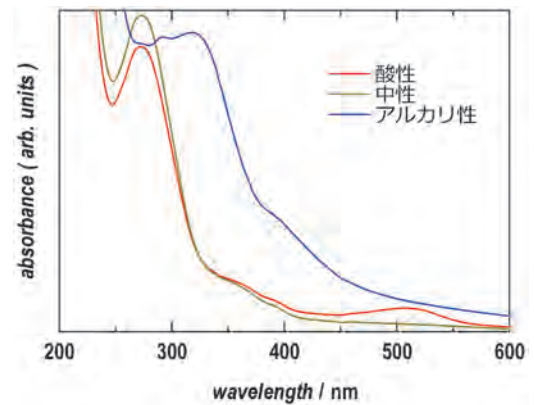
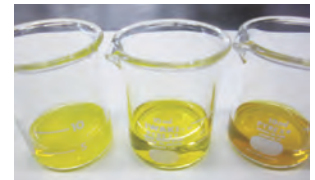


図3-9 バラ(赤色)を用いた指示薬のpH色調変化と可視紫外吸収スペクトル

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。



バラ(黄色)(5月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

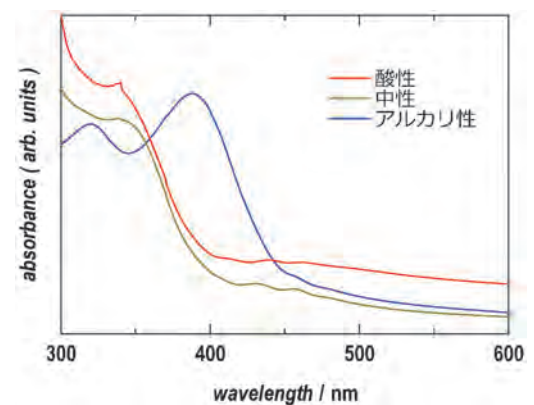
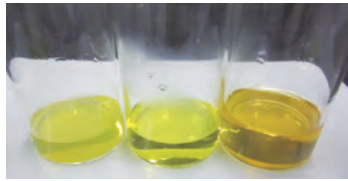


図3-10 バラ(黄色)を用いた指示薬のpH色調変化

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。





バラ(オレンジ色)(5月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

図3-11 バラ(オレンジ色)を用いた指示薬のpH色調変化

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。

た、オレンジ色のバラはペラルゴニンを含んでいると予想され、変色が期待されたが大きな違いは見られなかった。

次に、アヤメ、菖蒲、シャクヤクの色調変化と吸収スペクトルを図3-12-14に示す。



アヤメ(5月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

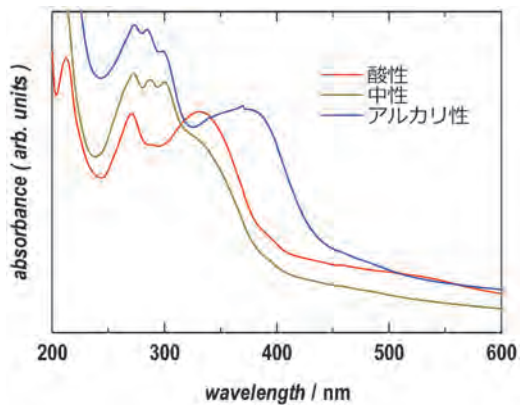


図3-12 アヤメを用いた指示薬のpH色調変化と可視紫外吸収スペクトル

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。



菖蒲(紫色)(5-6月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

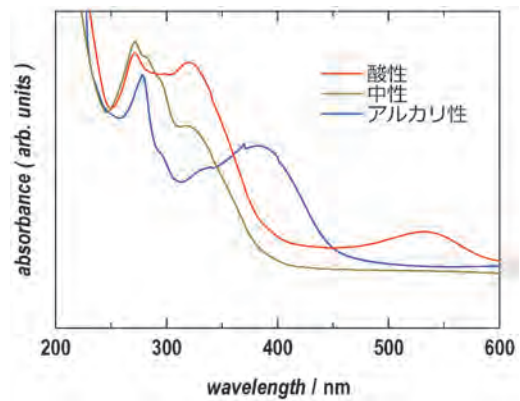
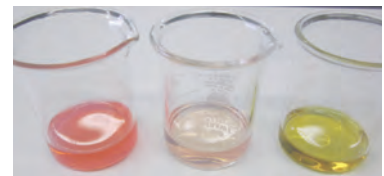


図3-13 菖蒲を用いた指示薬のpH色調変化と可視紫外吸収スペクトル

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。



シャクヤク(紫色)(5-6月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

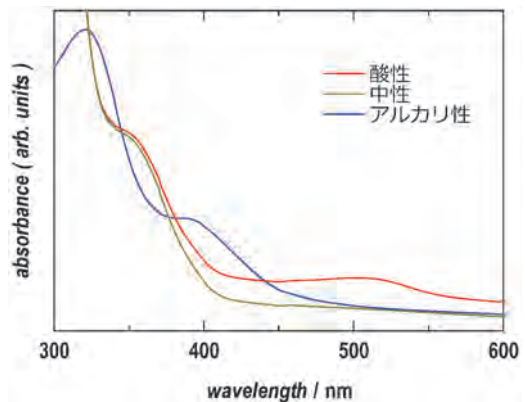


図3-14 シャクヤク(紫色)を用いた指示薬のpH色調変化と可視紫外吸収スペクトル

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。

アヤメ、菖蒲、シャクヤクの色調変化は非常に顕著で、酸性とアルカリ性の違いが最も明確であった。さらに、吸収スペクトルを見ると酸性ですべて500 nm付近に極大吸収が観測された。これらのことから、アヤメ、菖蒲、シャクヤクの花はアントシアニン系の色素を多く含んでいることがわかった。

オレンジ色のユリのpH色調変化と吸収スペクトルを図3-15に示す。



ユリ(オレンジ色)(6-7月)  
(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

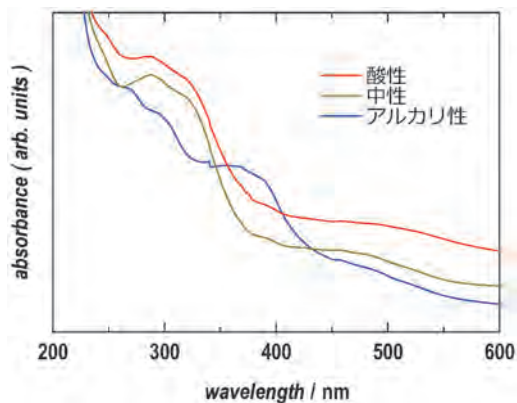
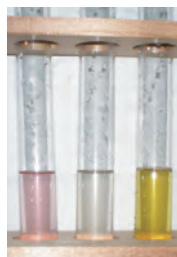


図3-15 ユリ(オレンジ色)を用いた指示薬のpH色調変化と可視紫外吸収スペクトル

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。

前述のオレンジ色のバラと同様に、オレンジ色のユリもペラルゴニジンを含んでいると予想されたが、大きな色調変化とスペクトル変化は得られなかった。

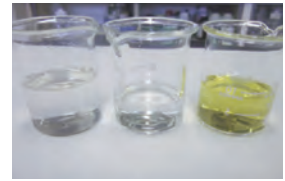
アジサイの萼の色素のpH色調変化と吸収スペクトルを図3-16に示す。



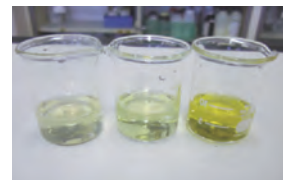
アジサイ(紫色)(6-7月)



アジサイ(白色)(6-7月)



アジサイ(青色)(6-7月)



アジサイ(ピンク色)(6-7月)  
(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

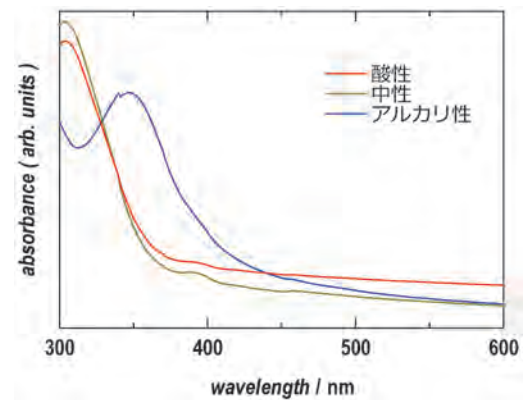
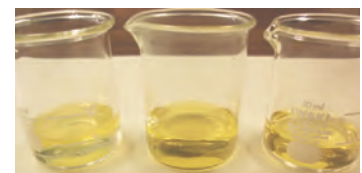


図3-16 アジサイを用いた指示薬のpH色調変化とアジサイ(ピンク色)の可視紫外吸収スペクトル

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液，アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。

全体に、アルカリ性の黄色の色調は非常に顕著であったが、酸性と中性の違いを明確に判断することは難しいと言える。

ヒマワリの色調変化と吸収スペクトルを図3-17に示す。



ヒマワリ(7-8月)  
(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)



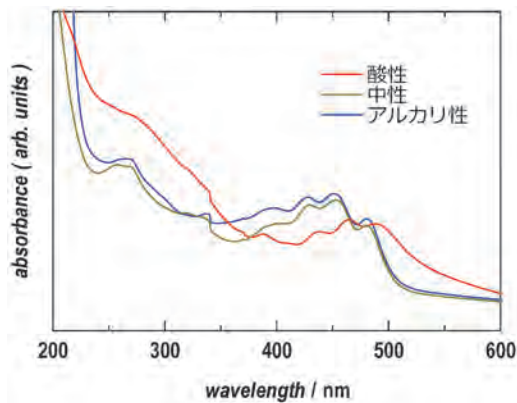


図 3-17 ヒマワリを用いた指示薬のpH色調変化と可視紫外吸収スペクトル

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液, アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。

タンポポと同様に、大きな色調変化とスペクトルの変化は観測されなかった。紫色のアサガオの花のpH色調変化を図 3-18に示す。



アサガオ(紫色)(7-8月)

(左から酸性、中性、アルカリ性の水溶液)

図 3-18 アサガオを用いた指示薬のpH色調変化

酸性溶液は0.1 mol/L塩酸水溶液, アルカリ性溶液は0.1 mol/L水酸化ナトリウム水溶液を用いた。

紫色のアサガオの花は、紫キャベツと同じように小学校などでよく用いられる植物色素であり、顕著なpH色調変化を示す。寒椿のpH色調変化を図 3-19に示す。



寒椿(12-2月)

図 3-19 寒椿を用いた指示薬のpH色調変化

冬の12-2月では、教材に使える植物の花はあまりないが、寒椿はアントシアニンの色素を含んでいるため、図 3-19に示したような色調変化を示す。このとき、強アルカリ性になると、色素が黄色ではなく茶色に変化するので注意する必要がある。

これらの実験から、比較的pHに対する色調変化が鋭敏であったのは、ヒラドツツジ、菖蒲、アサガオであり、理科教材として使用できると思われる。

次に、これらの植物の花の色素を使ってアンモニアの噴水実験<sup>2)</sup>を試みた。今回の実験で使った植物はピンク色のヒラドツツジ(図 3-6)と黄色のバラ(図 3-10)である。実験風景と色変化の結果を図 3-20と表 3-1に示す。



図 3-20 花の色素を使ったアンモニアの噴水実験

左の写真はヒラドツツジ、右はバラ(黄色)の色素を使った実験である。

表 3-1 噴水実験に使用した指示薬の色変化

指示薬	色の変化
ヒラドツツジ	赤色→黄色
バラ(黄色)	黄色→黄色

アントシアニン系の色素をもったヒラドツツジでは噴水の色が赤から黄色に変わったが、黄色のバラでは大きな色の変化はなかった。このことから、アントシアニン系の色素をもった植物を用いてアンモニアの噴水実験をすると溶液が変色することわかった。したがって、紫キャベツ以外にもアントシアニン系の色素を含んださまざまな植物を用いて実践することが可能であることが本研究から明らかとなった。

#### 4. 身のまわりにある指示薬

我々は、身のまわりにある植物色素以外にpH指示薬として利用できるものとしてプリンターのインクや食用色素の可能性を評価した。その結果、青色の食用色素が少しであるが、pHの色調変化を示すことがわかった。図 4-1に青色食用色素の色調変化、図 4-2に青色食用色素のpH吸収スペクトル変化を示す。

図 4-1から中性およびアルカリ性と酸性水溶液で色が異なり、図 4-2中のスペクトルの形状も異なることがわかった。このことから、青色の食用色素は酸性の指示薬として有効であることがわかった。



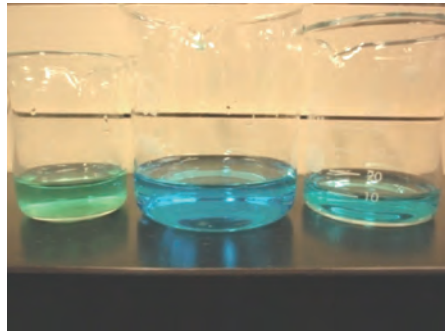


図 4-1 青色食用色素のpH色調変化  
(左からpH値が1.15, 8.64, 12.3である。)

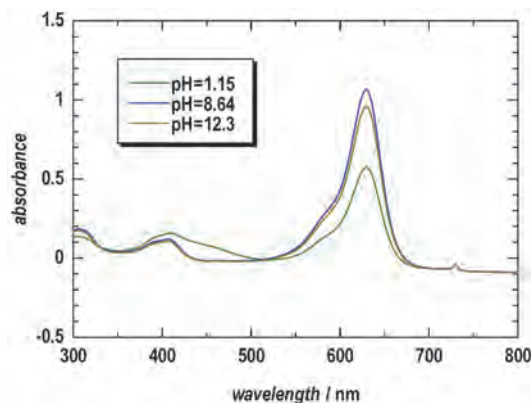


図 4-2 青色食用色素の吸収スペクトル

## 5. 実践例

今回、橋本市立応其小学校と和歌山大学大学院(2010年度理科実験観察実習IA)で行った植物色素を使った酸とアルカリの実践例を紹介する。小学校の授業では、図5-1に示した市販のアントシアニン系色素を含んだマローブルーを使った実験<sup>2,8)</sup>を行った。



図 5-1 市販されているマローブルー  
(ケニス社製)

まず、マローブルーを乳鉢でよくすり潰し、イオン交換水を加えて紫色の色素を取り出した。この紫色の水溶液をサンプル管(マルエム社製サンプル管40×120 mm)に入れ、80 mLのイオン交換水を加えた。次に、適量の重そうを加え、水溶液の色を緑色に変化させた。ここに、少量のドライアイスを入れ、水溶液を弱アルカリ性から酸性に変化させた。<sup>2,8)</sup>すると、図5-2に示したように溶液の色が緑→紫→ピンク色に変化した。



図 5-2 マローブルーとドライアイスを使った実験

続いて、フェノールフタレイン指示薬を使ってアンモニアの噴水実験<sup>2)</sup>を演示した。これらの実験を通して、酸とアルカリの性質について解説した。

次に、大学院で行った実践例について紹介する。大学院の講義では、教科書で記載されているフェノールフタレイン<sup>4)</sup>やBTB<sup>4)</sup>を使ったアンモニアの噴水実験<sup>4)</sup>の他に、マローブルーや紫キャベツ、赤シソ、カレー粉の色素を使ってアンモニアの噴水実験を試みた。噴水実験の風景と色変化の結果を表5-1に示す。

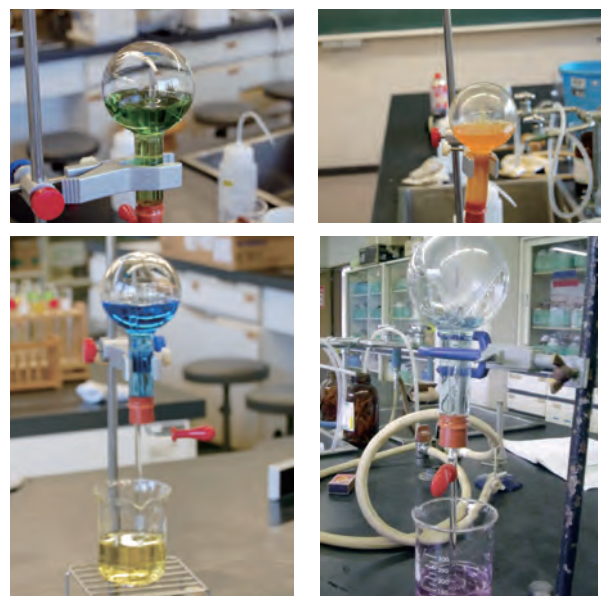


図 5-3 マローブルー(左上), カレー粉(右上), BTB(左下)および紫キャベツ(右下)色素を使ったアンモニアの噴水実験

表 5-1 噴水実験に使用した指示薬の色変化

指示薬	色の変化
フェノールフタレイン	無色→赤紫色
BTB	黄色→青色
紫キャベツ	うすい紫色→青色
赤シソの葉	うすい紫色→緑色
マローブルー	うすい紫色→緑色
カレー粉	黄色→オレンジ色

これらの実験結果から、アントシアニン系の植物色素を持った紫キャベツや赤シソ、マローブルーの水溶液の色が紫色から青や緑色に変色することがわかった。同じアントシアニン系の色素であるが、アンモニアの濃度や溶けている色素の量によって少し色調が異なる。これは、アントシアニン系の色素が弱酸性から弱アルカリ性の範囲で色調が微妙に変化するためであり、他の指示薬と大きく異なった。

さらに、ウコン色素を含んだカレー粉で同様の実験を行った結果、黄色からオレンジ色の変色が認められた。このことから、ウコンの色素はアルカリ性の指示薬として有効であり、アンモニアの噴水実験に利用できることがわかった。

最後に、イオン交換水を用いて抽出した赤シソの色素の吸収スペクトルを図 5-4 に示す。酸性溶液において約 500 nm 付近に極大吸収が見られることから、図 2-12 の紫キャベツの吸収スペクトルと類似し、紫キャベツと同様に酸アルカリ指示薬としても顕著な色調変化が認められると思われる。

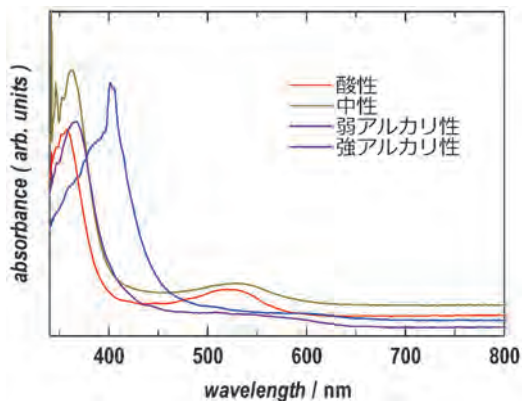


図 5-4 赤シソを用いた指示薬の可視紫外吸収スペクトル

なお、今回の授業を行うにあたり、和歌山県橋本市立城山小学校堂本三恵子先生に大変お世話になりました。

また、本研究は、一部理科支援員等配置事業の補助を受けて実施したものである。

#### 参考文献

1. 中村淳子, 現代化学, **232**, 26(1990).
2. 戸嶋直樹, 尾形一郎, 大野尚典訳, 化学実験とゲーテ, 丸善(2002).
3. 齋藤烈, 藤嶋昭, 山本隆一, 化学基礎, 啓林館(2011).
4. 三浦登, 岡村定矩, 新しい科学 1 上, 啓林館(2010).
5. 酒井忠雄, 相原将人編, 環境分析化学実験, 三共出版, pp.92(2002).
6. <http://www.kiriyu-chem.co.jp/q&a/q43.html> (2011年9月現在).
7. 市村慎二郎, 環境とエネルギーの科学入門, 講談社サイエンスフィク, pp.81(2001).
8. [http://www.kenis.co.jp/experiment/index\\_res.html](http://www.kenis.co.jp/experiment/index_res.html) (2011年9月現在).